

ビッグバン以前を探る CMB 偏光観測と KEK CMB 観測グループ

インフレーション宇宙仮説は、熱いビッグバン以前に宇宙が急激な加速膨張を起こしたとする仮説である。その加速機構の検証は現代宇宙論の最重要課題の一つである。インフレーションに起因する原始重力波の検証なくしてこれは完成しない。CMB 偏光 (B モード偏光) は、いわば「時空に浮かぶ天然の原始重力波記録装置」であり、その測定は原始重力波を発見するための最も感度の高い方法である。CMB 偏光観測は、インフレーションの背後にある量子重力理論 (超弦理論等) を検証できる現在唯一無二の手段であるため、高エネルギー物理学の発展にも不可欠である。

CMB グループは 2007 年度より活動を開始し、KEK 内サポート研究者・技術者を含めて機構横断的に研究を推進している。現在、科研費新学術領域研究 (研究領域提案型) 「加速宇宙」(H27-31、領域代表・村山斉) の計画研究「宇宙マイクロ波背景放射の広天域観測で探る加速宇宙と大規模構造」(代表・羽澄昌史)、基盤研究 (S) 「宇宙マイクロ波背景放射偏光観測装置 POLARBEAR-2 で探る宇宙創生の物理学」(H26-30、代表・羽澄昌史) などの補助を受けて活動している。

グループの研究方針は、「スペース CMB 観測を目指すこと」であり、それにつながる地上観測も手がけている。グループが推進している 2 つの主要プロジェクト (POLARBEAR、LiteBIRD) およびその他のプロジェクトについて進捗を以下に述べる。

POLARBEAR (ポーラーベア) 実験: アップグレード検出器 POLARBEAR-2 の試験終了。

いよいよチリへ!

KEK CMB グループの現在の中心プロジェクトが、超伝導検出器アレイを用いた POLARBEAR 実験である。米国カリフォルニア大バークレー校、サンディエゴ校、カナダ・マギル大、フランス・パリ第 7 大学などと共同で準備をすすめ、望遠鏡をチリ・アタカマ高地 (標高 5200m) に設置し、2012 年 1 月より観測を開始した。POLARBEAR 実験は有効直径 2.5m の主鏡を持ち、原始重力波に対する高い感度に加え、重力レンズに起因する CMB 偏光 B モードを発見する上で有利なデザインとなっている。

POLARBEAR 実験の主たる科学目標は、

- 1) 原始重力波の探索によるインフレーション理論・量子重力理論 (超弦理論など) の検証、および
- 2) 重力レンズによる宇宙のエネルギー組成の謎 (ニュートリノ質量、ダークエネルギー) 解明である。初年度および次年度のデータのみを使った観測結果の論文は発表済みである。特に世界で初めて CMB のみを用いて重力レンズの証拠を検出した (科学目標 2 に関わる成果) ことが大きな成果であり、2014 年に発表した論文は引用度 214 となっている (2018 年 9 月 5 日現在)。

KEK CMB グループはこれまでの感度を 6 倍程度改善し、かつ 90GHz、150GHz の同時観測により前景放射の影響を低減する POLARBEAR-2 計画を提案し、主導している。

POLARBEAR-2 検出器の開発は 2009 年にスタートしたが、このたび 2018 年 8 月に KEK での総合試験が完了した。9 月末にチリに向けての輸送を開始する予定である。10 月末にチリ・アタカマ高地の観測サイトで設置作業をはじめ、年内のファーストライトを目指す。図 1 に、試験を完了した POLARBEAR-2 検出器と KEK に所属する開発メンバーの写真を示す。

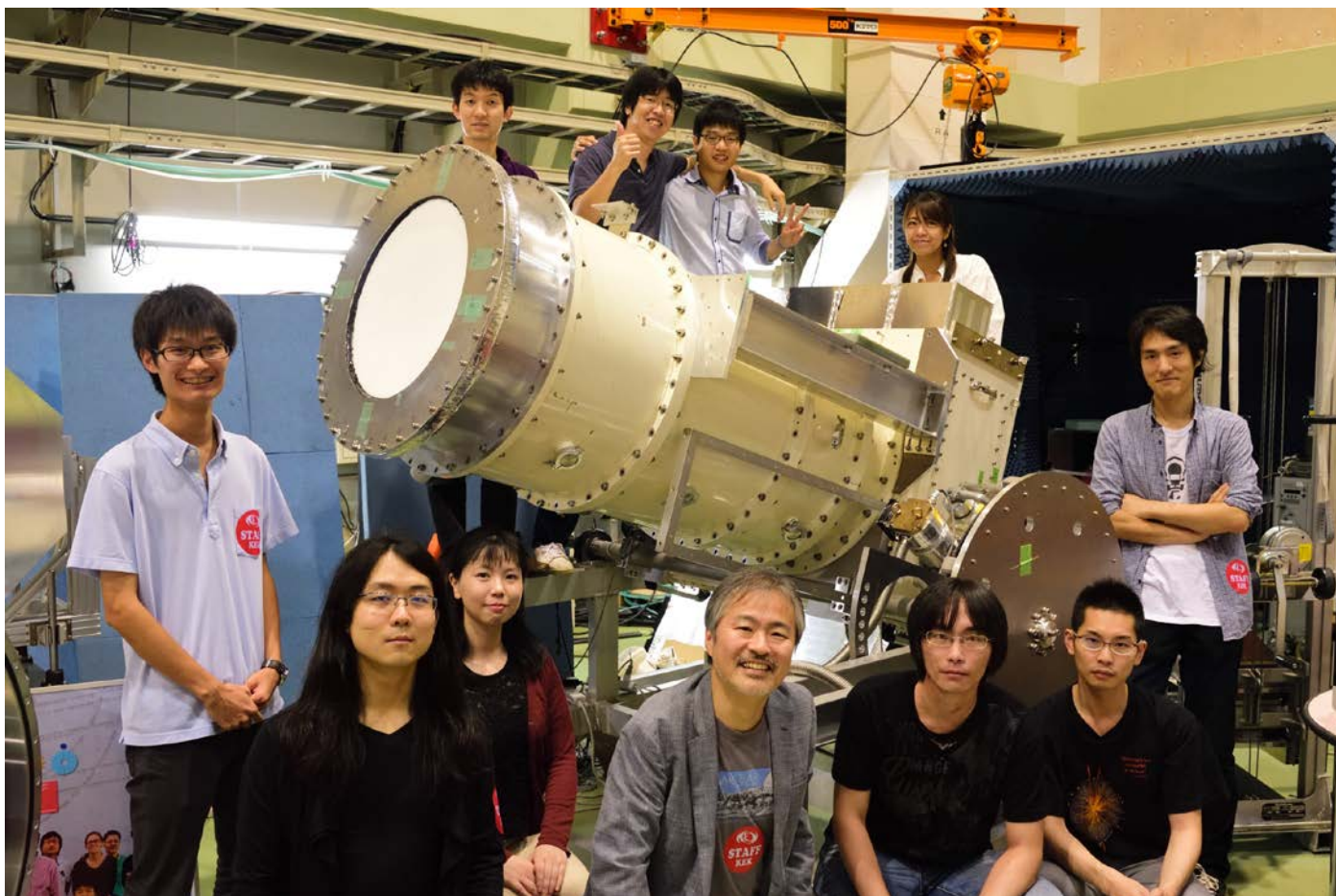


図 1：総合試験を終えた POLARBEAR-2 検出器と KEK に所属する開発メンバー（受け入れ学生等を含む）

POLARBEAR-2 は、望遠鏡を 3 台用いてより多くの周波数で観測を行う Simons Array（サイモンズアレイ）計画の一部と位置付けられている。サイモンズアレイの望遠鏡のうち 1 台に KEK が主導して開発した POLARBEAR-2 検出器を搭載する。図 2 にチリに設置されたサイモンズアレイの 3 台の望遠鏡を示す。

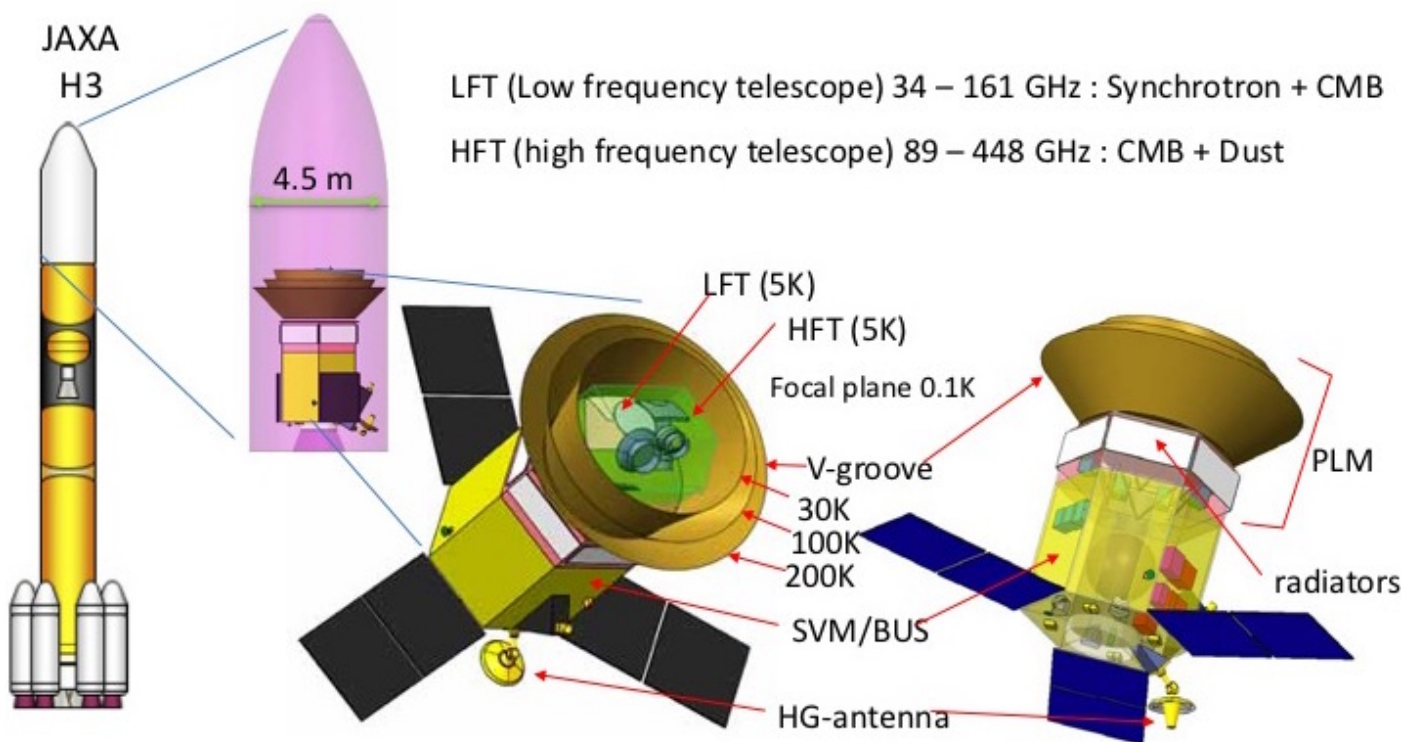


図 2：チリ・アタカマ高地に設置された Simons Array（サイモンズアレイ）の 3 台の望遠鏡

LiteBIRD 衛星計画：フェーズ A1 完了と国際協力の進展

KEK CMB グループでは究極の CMB 偏光観測を行うための科学衛星計画 LiteBIRD を 2008 年に発案した。宇宙理学委員会の承認のもとワーキンググループ（主査：羽澄昌史）が結成され、検討を開始した。2015 年 2 月に、JAXA 宇宙科学研究所の戦略的中型衛星計画公募に対して LiteBIRD 計画を提案した。第一段階の審査（ミッション定義審査）を通り、その後国際レビュー（2016 年 5 月）、フェーズ A1 計画審査（2016 年 8 月）を経て、2016 年 9 月よりフェーズ A1 の概念設計を開始し、2018 年 8 月に完了した。計画全体の PI は羽澄が務め、宇宙科学研究所の LiteBIRD フェーズ A1 チームは堂谷教授がチーム長を務めた。

LiteBIRD は、2027 年の打ち上げを目指した JAXA 戦略的中型科学衛星の候補である。図 3 に、LiteBIRD の概観を示す。超伝導検出器を搭載した二台の望遠鏡により、Planck 衛星のおよそ 100 倍の感度で CMB 偏光を全天にわたり精密観測する。大気の影響を受ける地上観測では到達できない感度で、B モード偏光の全貌を明らかにすることを目指している。



フェーズ A1 の間に国際協力の進展があり、現在 180 名を超える国内外の研究者が活動している。米国 LiteBIRD グループは NASA より資金を得て超伝導検出器の技術開発を進めている。カナダグループも 2017 年 11 月にカナダ宇宙庁 (CSA) から資金を得ることに成功し、2018 年 1 月から 7 ヶ月間の読み出しエレクトロニクス概念設計を行った。さらに、2018 年 8 月からは、サイエンスに関する検討のための新しい検討も CSA により承認された。ヨーロッパでは、ヨーロッパ LiteBIRD コンソーシアムが結成され、現在約 80 名のメンバーで検討を行っている。ヨーロッパは高周波観測用の望遠鏡 (HFT) とサブケルビンの冷凍機を担当する予定である。ヨーロッパ宇宙庁 (ESA) もコンソーシアム及び JAXA からの要請を受けて、JAXA と共同で 2018 年 3 月～6 月の間に検討を行った。検討の報告書は近日中に公開される予定である。このように、日本・アメリカ・カナダ・ヨーロッパが分担して協力する体制ができつつあり、LiteBIRD は世界的に注目を集めている。

フェーズ A1 が終了し、今後はフェーズ A1 終了審査を経て、来年に最終ダウンセクションが行われる予定である。KEK は、これまでの地上実験で培った技術と経験に基づいて、JAXA につく

ばキャンパスと KEK の所在地が近いという利点も生かしつつ、ミッション部の検証試験を主導していく予定である。

本計画は、学術会議マスタープラン 2017 の重点大型研究計画に選ばれ、かつ文部科学省のロードマップ 2017にも 10 計画の一つとして掲載されている。学術会議へは、宇宙電波懇談会の提案により物理学委員会天文学・宇宙物理学分科会の推薦を受け、カブリ IPMU 機構長が提案を行った。

その他の活動

更に、客員准教授の田島治氏（京大）を中心に、大角度相関の測定を目指す GroundBIRD 装置の開発研究も進めている。科研費基盤研究（S）「大角度スケール CMB 偏光パターンの地上観測実験によるインフレーション宇宙の解明」（H27-31、代表・大谷知光（理研））の補助を得ている。GroundBIRD 検出器も試験が進んでおり、今年度中にスペイン・カナリア諸島へ送り出し、来年試験観測を開始する予定である。図 4 に検出器の概要を示す。

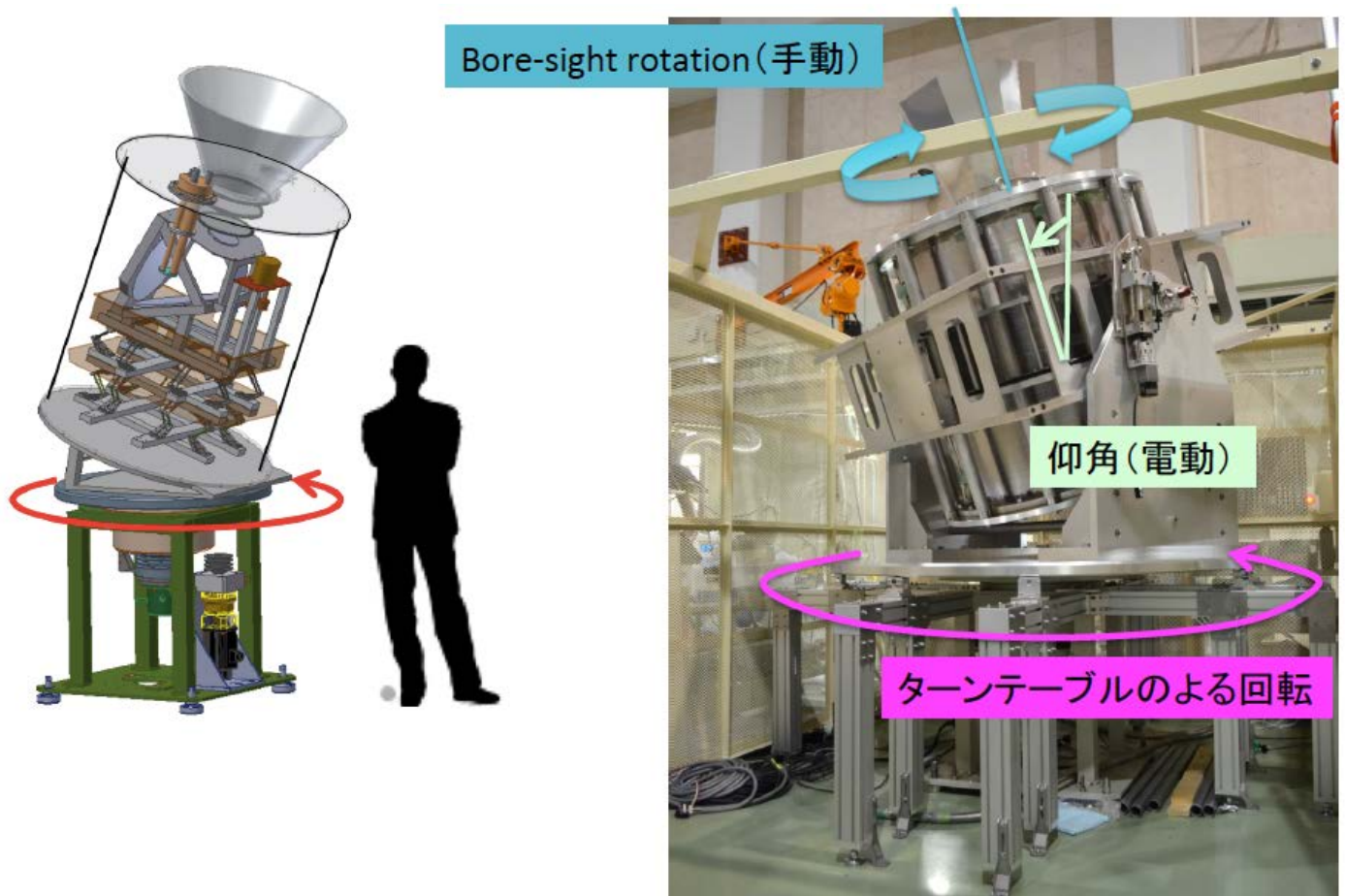


図 3 : GroundBIRD 検出器の概観

学生の教育にも力を注いでおり、大学院生 7 名（現在総研大 4 名、他大学から 3 名）が研究に参加している。グループ全体としては着実に新しい成果論文を出版し、かつ、将来に向けた準備も順調に進めている。引き続き、今後の結果に期待していただきたい。